

総 説 (教授就任記念講演)

心エコー・ドプラ法を用いた心不全の診断 ～左室拡張能評価と Point-of-Care 超音波検査～

山 田 博 胤

徳島大学大学院医歯薬学研究部地域循環器内科学

(令和2年3月9日受付)(令和2年3月25日受理)

はじめに

本邦の総人口が減少するなかで、高齢化率は上昇し、高齢者に多くみられる心不全の患者数は増加の一途をたどっている。このような傾向はこれからも続くことが予想されており、こうした状況は、感染症患者の爆発的な広がりになぞらえて「心不全パンデミック」と呼ばれている¹⁾。心不全の診断は、まず、息切れ(呼吸困難)、動悸、浮腫といった心不全に特有な症状があるか否かの問診を行い、さらに、視診、聴診、触診といった身体所見に加え、胸部X線検査、心電図検査、心エコー図検査、血液検査などのさまざまな検査を行って、総合的に判断される。このうち、「心エコー図検査」は、心臓の形態および機能を知ることができる検査である。本検査は心不全の確定診断が可能であるだけでなく、その原因を究明することができ、治療効果の判定もできるため、心不全の診療においては必須の検査といってよい。また、高齢者に多くみられる「左室駆出率が保持された心不全(heart failure with preserved ejection fraction: HFpEF)」の病態を把握するには左室拡張機能を評価する必要があるが、その評価において大きな役割を果たしているのが心エコー・ドプラ法である。

ドプラ法も含めた心エコー図検査は、時代の流れとともに次々と新しい技術が開発され、その発展に伴って評価できる項目が膨大になっている。特に、拡張機能評価については、日本人研究者の貢献が大きく、われわれ徳島大学心エコーグループもその一端を担ってきた²⁾。本稿ではまず、心不全の診断における左室拡張機能評価の歴史とその現状について述べたい。また、これを応用した拡張期ストレス心エコー図検査(Diastolic stress echo-

cardiography)についても触れる。

また、20年余前には心エコー図検査の主な担い手は医師であったが、近年、検査室における本検査の多くがソノグラファーによって行われている。医師はその報告書に記載された情報を頼りにして診療を行っている。しかし、救急の現場やベッドサイドでは、臨床推論に従って、医師が聴診器で聴診を行うがごとくエコー検査を行い、その情報を即座に診療に役立てる必要がある。このようなエコー検査は、Point-of-Care 超音波(POCUS)と呼ばれ、前述のように検査室で行うエコー検査ではない、新しい超音波検査の活用法として定着しつつある³⁾。本稿の後半では、心不全の診療におけるPOCUSの活用法について述べる。なお、心不全は症候群であり、さまざまな原因で発症し、心機能が正常であっても心不全をきたすこともある。本稿では、心機能の低下を原因とする心不全、主に左心不全に焦点を絞る。

心不全の病態とその診断

1. 心不全の病態

われわれが心不全に苦しむようになったのは、生命の誕生からの長い歴史ではつい最近のことである。これまでわれわれの生命を脅かしてきたのは、飢餓による脱水や出血、感染であった。人類を含む哺乳類はこれらの異常事態に対応するように長い時間をかけて進化してきたが、心不全に対応する能力を備えるにはまだ時間がかかるだろう。心臓に何か問題が生じて心拍出量が低下したとき、それを代償するのは脱水や出血に対応する能力であると推測される。つまり、心拍出量の低下は脱水あるいは出血が原因であると脳が判断して、それに対応すべ

く交感神経系が血管を収縮させ、臓器灌流圧および静脈灌流を維持しようとする。また、レニン-アンギオテンシン-アルドステロン系やバソプレッシン系などが賦活化して体に水分を貯留するように働く。その結果、心臓に還流する血液量が増加（前負荷増大）、心臓は拡大して、心拍出量を正常に保とうとする。ところが、過剰な水分貯留は、体中に異変を生じさせる原因にもなる。心拡大は心室拡張末期圧を上昇させ、心房圧も上昇する。その結果、左心系において肺うっ血を、右心系においては末梢静脈うっ血をもたらす。これが心不全の後方障害による症状である息切れや浮腫の原因となる。この代償機転が破綻すると、とうとう心拍出量が低下し、心不全の前方障害に伴う症状、つまり、倦怠感、低血圧、四肢冷感などが出現する。したがって、このような病態を心エコー・ドプラ法で診断するには、①前負荷増大、②左房圧の上昇、③心拍出量の低下、を証明することが重要である。一般的に、前負荷増大は下大静脈の径や呼吸性変動の有無、左房圧の上昇は左室拡張能、心拍出量の低下は左室収縮能をそれぞれ評価して判定する。さらに、後述のPOCUSでは、心不全の診断に肺エコー法が併用されることがあり、肺うっ血の有無を直接評価することができる。

2. 前負荷増大の診断

前負荷とは、心臓に環流する血液量と言い換えることができる。したがって、左室をポンプとして考えた場合、前負荷は左室拡張末期容積に反映される。拡張末期の左室が大きいほど前負荷が大きいといえる。しかし、左室のサイズは体格に影響されるほか、各種の心筋疾患によ

る心筋障害や、弁逆流などによる慢性的な負荷にも影響を受ける。したがって、左室拡張末期容積だけを用いて心不全の状態である前負荷の増大を判定することは困難である。

左心系と右心系を併せた心臓全体で考えると、上大静脈と下大静脈から血液は流入している。血液量が増えると血管内圧（中心静脈圧）が上昇し、コンプライアンスの高い静脈系は血管内圧の上昇に対して容易に拡張する。すなわち、血管が拡張していれば、血管内の血液量が増加しているということが分かる。診察では上大静脈の上流にある頸静脈が怒張しているかどうかを視るが、超音波検査で観察しやすいのは下大静脈である。したがって、日常臨床で前負荷増大を確認するには、下大静脈を観察する（図1）。下大静脈径は、下大静脈が右房に流入するやや上流部（米国のガイドラインには、下大静脈の右房入口部から1～2cmの部位とある）で計測する⁴⁾。このようにして計測した下大静脈径が2.1cmを超え、径の呼吸性変動が50%未満である場合に中心静脈圧が上昇、すなわち前負荷が増大していると判断する⁴⁾。下大静脈径も体格に影響を受けるため、日本人で体格指数（Body Mass Index, BMI）が小さな場合には、1.7cmあるいは1.9cmという基準を用いるほうがよいという報告もある^{5,6)}。また、通常呼吸では呼吸性変動の判定が難しいことがあり、意識がある患者では短く鼻をすする（sniff）ことをしてもらい、その時の下大静脈径の変化を観察する。さらに、下大静脈を短軸断面で観察すると、健常では扁平な楕円形であるが、中心静脈圧の上昇とともに正円に近くなる。したがって、径だけでなく、下大静脈の短軸断面で評価した縦横比が中心静脈圧の評価に

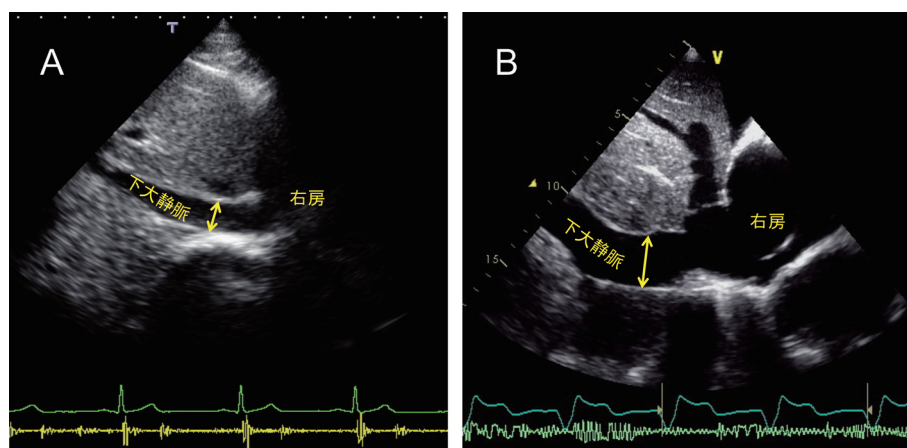


図1

有用であるとされている⁷⁾。計測を行わないPOCUSでは、下大静脈の短軸断面を観察して、大きく見えて正円に近ければ前負荷が増大している状態であり、逆に小さく扁平で虚脱していれば脱水の状態であるという判断に用いることができる。

3. 左房圧上昇の診断

左室拡張末期に僧帽弁が閉じる瞬間に、左房圧と左室拡張末期圧は等圧である。したがって、僧帽弁に狭窄や閉鎖不全がなければ、左室拡張末期圧の上昇が左房圧の上昇を招来し、心不全の症状、この場合は肺うっ血が生じる。左室拡張末期圧がなぜ上昇するかというと、拡張早期の原因としては、左室の弛緩が障害され左室圧下降が緩徐となることが一つの要因である。加齢だけでも左室弛緩障害は生じるが、高血圧、糖尿病などの慢性疾患や、心筋症、心筋虚血などさまざまな心筋疾患がその原因となる。拡張中期以降の原因としては、左室コンプライアンスの低下が左室拡張末期圧上昇の原因となる。左室が硬くなればわずかな血液の流入でも左室内圧が上昇するため、硬くなればなるほど内圧が上昇し、拡張期の終末である拡張末期には圧が著明に上昇する。また、このような機序で拡張末期圧が著明に上昇すると、左房圧が高いまま僧帽弁が閉鎖することになり、次の心拍の拡張早期には左房圧が著明に上昇した状態で僧帽弁が開放するため、左室と左房の交差する圧が高い状態から拡張期が始まり、その拡張末期圧がさらに上昇する、という悪循環を繰り返すようになる（図2）。

左房圧を直接測定することは難しいので、右心カテーテル法では静脈から右房、右室、肺動脈に進めたカテーテル（スワン・ガンズカテーテル）を用いて、先端のバルーンを膨らませて得られる肺動脈楔入圧を測定し左房圧の代用指標とする。本法は血管内にカテーテルを挿入する侵襲的手技を必要とするため、心エコー図を用いて非侵襲的に左房圧を推定しようという試み、すなわち左室拡張能の評価が重要視されるようになった。

まず行われたのは、Mモード法を用いた僧帽弁前尖運動の解析であった。しかし、ドプラ法が開発されて僧帽弁口血流速（TMF）波形が記録できるようになると、Mモード法は廃れ、現在では、主にTMF波形を解析することで、左房圧上昇の有無を判定している。しかし、後述のごとくTMF波形だけでは左房圧の上昇を正確に判定することが難しく、肺静脈血流速波形、左室流入血流伝搬速度、僧帽弁輪運動速波形などから得られた情報、さらには、断層心エコー図法で得られる左室の形態やさまざまな情報を統合し、総合的に判断する必要がある。このような診断は高度な専門的知識を要するため、循環器内科医あるいはトレーニングを受けたソノグラファーでなければ診断が難しい。したがって、救急医や総合内科医が行うPOCUSでは、このようなドプラ法を用いた左房圧上昇の判定までは求めておらず、左室の拡大や肥大、収縮能の低下から、左房圧の上昇を疑うか、あるいは左房圧が上昇しやすい状態、すなわち心不全が生じやすい状態を判定するにとどまる。心エコー・ドプラ法を用いた心不全の診断については後述する。

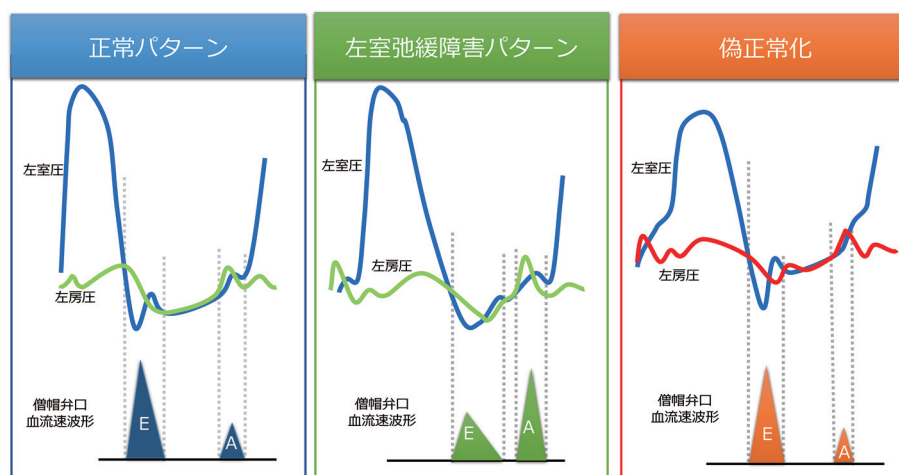


図2

4. 心拍出量の低下

心拍出量は一回拍出量に心拍数を乗じて求め、一回拍出量は、左室拡張末期容積と左室駆出率の積を100で除した値である。心エコー図検査では、断層法とドプラ法の2つの方法で一回拍出量が算出できる。前者は、二断面ディスク法により左室拡張末期容積と左室収縮末期容積を計測し、その差から算出する。後者は、左室流出路径から左室流出路断面積を算出し、その値に左室流出路血流速度波形の時間速度積分値を乗じて算出する。いずれの方法も、計測の限界や無視することができない計測誤差があるため、心エコー図法で算出した心拍出量は、臨床現場ではあまり利用されていない。何らかの治療効果を判定する場合には、左室流出路血流速度波形の時間速度積分値の経時的変化が用いられることがある。

このような背景から、臨床的に最もよく用いられている左室収縮能の指標は、左室駆出率である。最近は三次元心エコー図法により仮定のない左室駆出率が実測できるようになっているが、すべての施設で導入されているわけではないので、現在でも断層心エコー図を用いた二断面ディスク法によって計測した左室拡張末期および収縮末期容積から算出する左室駆出率が頻用されている。計測を行わない通常のPOCUSでは左室収縮能を見た目で判断し、過収縮、正常、軽度低下、重度低下、停止のいずれかに分類している。一方、心エコー図検査の専門家、あるいはエコー検査に習熟した非専門家がPOCUSを行う場合には、肉眼的左室駆出率（eyeball ejection fraction）を10%刻みで判断することが多い。息切れを訴える患者の左室駆出率が低下していれば、心不全の可能性が高い。しかし、最近では高齢者を中心としてHFpEFが増加しており、そのような心不全例の左室駆出率は正常である。また、心拍出量は左室駆出率だけでなく、左室拡張末期容積と心拍数で決定されるため、左室駆出率は厳密には収縮能の指標とは言えない。すなわち、左室駆出率が低下しても左室が拡大し心拍数が増すことで心拍出量が代償されていれば、心不全症状をきたさないことも少なくない。このような背景から、左室駆出率だけを指標にして心不全を診断することはできない。

心エコー・ドプラ法を用いた心不全の診断

1. 僧帽弁口血流速度（TMF）波形

パルス・ドプラ法を用いて各種心疾患におけるTMF波形を検討し、本法による左室拡張能の評価が臨床に有

用であることを世界で初めて示したのは、北畠らということになっている⁸⁾。しかし、1980年初頭、北畠らの大阪大学グループと時を同じくして、大木らの徳島大学グループもTMF波形を用いた左室拡張機能の評価に関する研究を進めていた。前述の北畠らの世界初といわれる論文に先行して、徳島大学グループが発表したパルス・ドプラ法を用いた左室拡張能評価の研究が日本超音波医学会の講演論文集に掲載されている⁹⁾。

さて、TMF波形は、拡張早期波（Early diastolic wave, E波）と、心房収縮期波（Atrial systolic wave, A波）の2つの波形により構成される（図2）。僧帽弁は左房と左室の圧較差により開閉するので、これら両波は左室圧に比して左房圧が高い時相に生じる。拡張早期には左室弛緩に伴う圧下降が生じ、左室圧が左房圧よりも低下した瞬間に僧帽弁が開放してE波が生じる。健常者では急峻に圧が低下した左室が左房から血液を吸引（suction）する形となり、E波が形成される。加齢や心筋疾患によって左室弛緩が障害されると、圧下降が緩徐となるため、suctionが弱まりE波高が低下する。しかし、心不全で左房圧が著明に上昇すると、左室圧下降が緩徐であっても著明に上昇した左房圧によって血液が押し込まれる形となるため、再びE波高が増大する。一方、左房収縮によって左房圧が上昇し、左室圧を凌駕することでA波が形成される。健常者ではE波だけで左室への血液充満が十分であるため、A波は小さい（ $E > A$ 、正常パターン）。左室弛緩が障害されると、E波のみでは十分な左室への血液充満が行えず、左房に積み残された血液を心房収縮で押し出して左室への血液充満を補う必要があるため、A波高が増大する（ $E < A$ 、左室弛緩障害パターン）。心不全の状態では、E波高は増大するもののコンプライアンスの低い左室はすぐに内圧が上昇してしまい、左室に血液は十分に流入できない。積み残された血液を心房収縮が押し出そうとするが、さらに上昇している左室圧が抵抗となりA波は大きくなれない（ $E > A$ 、偽正常化パターン）。左室に押し込めない血液は、肺静脈に押し出されることとなり、肺うっ血が生じる。

このように、左房圧が上昇するとTMF波形が偽正常化パターンを示すことは、徳島大学の大木ら⁹⁾がゼロクロス法を用いて検討を行い、1986年に日本超音波医学会雑誌で発表した。その後、メイヨークリニックのAppletonとHatlleら¹⁰⁾は、パルス・ドプラ法の現在の主流である高速フーリエ変換を用いた解析法を用いて同

様の事実を1988年に発表した。惜しむらくは大木らの論文は和文であったため、世界的には Appleton らが最初の報告をしたことになっている。

2. 肺静脈血流速 (PVF) 波形

健常者と左房圧の上昇した心不全患者の TMF 波形がよく似た $E>A$ のパターンを示すことから、その鑑別法に関する研究が多く行われた。経食道心エコー図法が開発されて、肺静脈血流速波形が明瞭に記録できるようになると、同波形が利用されるようになった。PVF 波形は、収縮期第1 (S_1) 波、収縮期第2 (S_2) 波、拡張期 (D) 波、心房収縮期逆行 (PVA) 波から構成される。若年健常者では、通常 $S_2<D$ のパターンである。左室弛緩障害が生じると、D 波が次第に減高し、 $S_2>D$ のパターンとなる。左房圧の上昇によって TMF 波形が偽正常化パターンになると、左室駆出率が低下した心不全 (Heart failure with reduced ejection fraction, HFrEF) では、 S_2 波高が低下して D 波高が増大し $S_2<D$ のパターンになり、PVA 波が増高するという現象が観察される。一方、HFpEF では、よほど左房圧が上昇するか、僧帽弁逆流を伴わない限り、 S_2 波は減高しにくく、特に肥大型心筋症では巨大な PVA 波をみることが多い。

3. 僧帽弁輪運動速波形

血流速度の計測に用いられていたパルス・ドプラ法を応用して、心筋壁などの構造物の移動速度を検出する組

織ドブラ法が開発された。われわれ徳島大学グループは、本法を用いた左室弛緩能の評価をいち早く試み、左室後壁運動速波形を記録し、その拡張早期波高がカテーテル法で得られる左室弛緩の指標である時定数 τ と関連することを示した (図3)¹¹⁾。同年、Nagueh らは、僧帽弁輪運動速波形の拡張早期波高 (e') も同様の指標であることを示し¹²⁾、TMF の E 波高をその e' で除した E/e' が左房圧 (Nagueh らの論文では肺動脈楔入圧を計測) と良い相関を示すことを報告した。 E/e' は、左房圧と直接的な相関があることが示された初めての心エコー図指標であり、現在でも臨床の心エコー図検査でルーチンに計測される指標である。その後 E/e' による左房圧の推定にはさまざまな限界があることが報告されており、症例毎に検証しながら利用する必要がある。

4. 左房圧上昇を判定するアルゴリズム

図4に左室弛緩障害を有する症例において、現在推奨されている左房圧上昇判定のアルゴリズムを示す¹³⁾。最初に TMF 波形の判定を行う。基本的には、TMF 波形が上述の弛緩障害パターンであれば左房圧は正常、TMF 波形の $E/A>2$ であれば左房圧上昇、その間の偽正常化パターンの場合、 $E/e'>14$ 、三尖弁逆流血流速度 >2.8 m/s、左房容積係数 >34 mL/m² の2つ以上が陽性であれば左房圧上昇と判定している。三尖弁逆流血流速度の高値は肺高血圧の存在を示し、心不全による二次性の肺高血圧が生じていることを示す。左房圧の上昇により左房が拡大

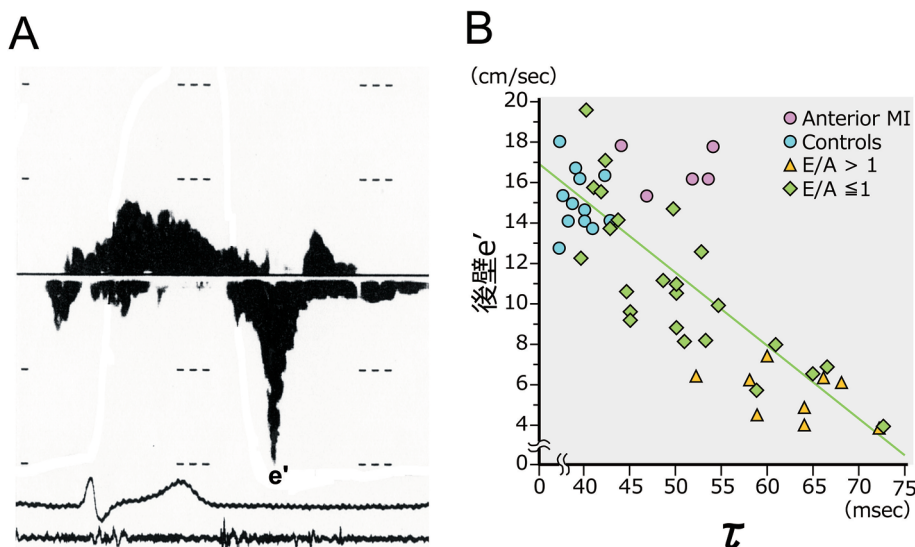


図3

A 両波が増高し TMF 波形が左室弛緩障害パターンのままであった Stable 群と、下肢陽圧負荷によって E 波が増高、A 波が減高して TMF 波形が偽正常化パターンとなる Unstable 群に分けた。その結果、下肢陽圧負荷による左室拡張末期圧の変化が、Stable 群では 10.5 ± 2.6 mmHg から 14.7 ± 3.8 mmHg, Unstable 群では 15.8 ± 4.7 mmHg から 20.5 ± 5.0 mmHg となり、Unstable 群で有意な左室拡張末期圧の上昇が観察された (図 5)。

そこで、臨床的に安定している心不全270例 (平均年

齢: 67 ± 11 歳, 男性175例, 女性95例) において、安静時の TMF 波形が偽正常化パターンを示した27例 (PN 群), 安静時、下肢陽圧負荷時とも弛緩異常パターンであった127例 (Stable 群), そして、安静時の弛緩異常パターンが下肢陽圧負荷で偽正常化パターンに変化した54例 (Unstable 群) に分け、 548 ± 407 日の観察期間中の死亡と心不全入院について調べた。その結果を図 6 に示す。驚いたことに、Unstable 群の予後は PN 群と同じ程度に不良であった。一方、負荷前の E/e' では予後の

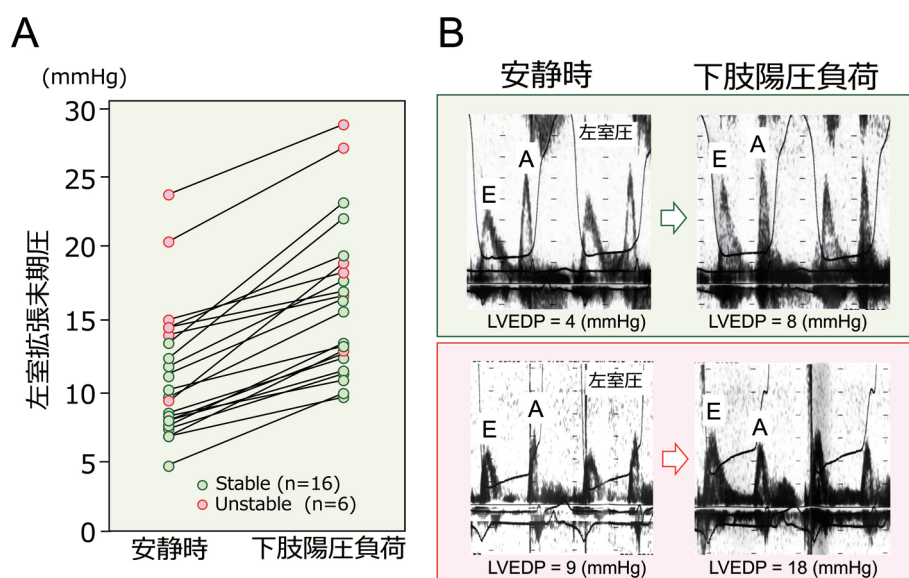


図 5

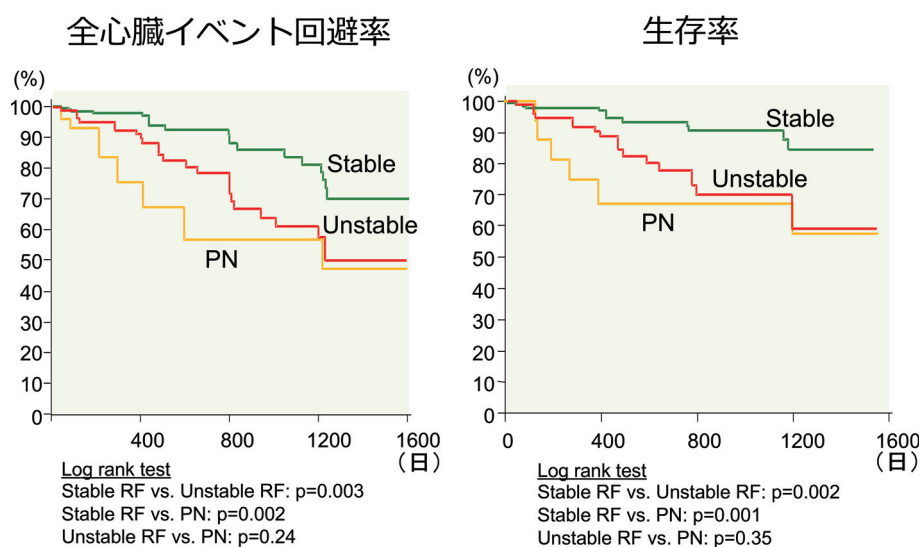


図 6

判別が困難であった。

本研究では、TMF 波形のパターン分類により 2 群に分けて検討したが、下肢陽圧負荷による TMF 指標の数値変化による検討を行ったところ、下肢陽圧負荷時に A 波高が 7 cm/sec 以上低下した群の予後が不良であることが分かった¹⁹⁾。今後、このような予後不良と判定された高リスク例に対して、薬物療法を強化することで予後の改善が得られるか、検討したいと考えている。

3. 前負荷ストレス心エコー図検査の応用

本法の臨床応用を拡大するため、われわれは専用で下肢陽圧負荷装置を試作した（図 7、コロナ工業株式会社製、徳島県吉野川市）。本装置を用いた前負荷ストレス心エコー図検査は、心エコー図検査中に簡便に施行でき、前負荷増大時の血行動態を非侵襲的に評価することができる。この利点を利用して、次のような研究応用が報告されている。1) 下肢陽圧負荷時の右室ストレインが心不全例の運動耐容能を予測する²⁰⁾、2) 下肢陽圧負荷時の右室ストレインが、心臓リハビリテーションによる運動耐容能の改善を予測する²¹⁾。3) 下肢陽圧負荷で心拍出量が増加し左房圧が上昇しない心不全例の予後が良好である²²⁾。4) 下肢陽圧負荷を用いて推定した投射大動脈弁口面積（projected AVA）が低流量大動脈弁狭窄の予後を反映する²³⁾。5) 下肢陽圧負荷に対する反応性で重度大動脈弁狭窄例の予後が分かる²⁴⁾。6) 肺高血圧例において下肢陽圧負荷で一回拍出量が増大する例の予後

が良好である²⁵⁾。

Point-of-Care 超音波検査による心不全の診断

1. Point-of-Care 超音波検査（POCUS）としての心エコー図検査

心エコー図学の発展に伴い、前述の拡張機能評価や負荷心エコー図検査を含め、心エコー図検査で多くの指標が得られるようになり、検査手技が複雑になった。一方で、超音波診断装置の性能が向上したことで、画像の取得にも職人芸的な技術を要さなくなり、初心者や非専門家であっても臨床的に有用な情報を得ることができる画像が描出できるようにもなった。さらに、バッテリーで駆動する小型のポータブル装置が開発、市販されたことで、循環器を専門とする医師のみならず、救急や麻酔科、一般内科や総合診療科など心エコー図検査を施行する医師の裾野が拡大した。このような事象は、心エコー図検査に限らず他の領域の超音波検査でも同様であった。そのような中で発展した新しい超音波検査の利用法が POCUS である。これは、臨床医が患者を診療（care）する場所（point）で行う超音波検査で、検査室でソノグラファーが記録して後から医師が解釈するというのではなく、得られた超音波所見を即時に患者の兆候や症状に関連させ、病態を把握するために用いられる³⁾。POCUSのうち循環器を専門としない医師が行う心エコー図領域については、Focused cardiac ultrasound (FoCUS)



図 7

として体系づけられ²⁶⁻²⁸⁾、エビデンスが蓄積されている²⁹⁾。FoCUSでは、原則3つのアプローチから得られる5つの断層図を描出し(図8)、(1)左室のサイズと収縮能、(2)右室のサイズと収縮能、(3)心膜液貯留と心タンポナーデの有無、(4)血管内ポリウムの評価(下大静脈径の評価)、をそれぞれ評価する。

2. 息切れを訴える患者のトリアージ

前述した下大静脈の観察がFoCUSでも推奨されている。Millerら³⁰⁾は、急性呼吸困難を訴えて救急外来を受診した89例を対象とした検討で、下大静脈の呼吸性変動が33%未満の場合に、感度80%特異度81%で心不全が診断できたと報告している。また、Bleharら³¹⁾は、急性呼吸不全を呈した46例のうち、下大静脈の呼吸性変動が15%未満で、感度93%特異度84%で非代償性心不全が診断できたと報告した。すなわち、呼吸困難を訴える患者で、下大静脈が拡大し、呼吸性変動が減弱していればかなり心不全が疑わしいといえる。

心不全を疑う患者においてFoCUSでは、左室サイズと収縮能の評価、右室サイズと収縮能を評価する。呼吸困難を訴える患者でこれらに異常を認める場合、心原性が考えやすい。下大静脈の拡大と呼吸性変動の低下を認め、さらに両心室のいずれかに異常があれば、さらに心不全の確率が上がる。一方、昨今増加しているHFpEFでは、FoCUSでは異常を認めないことも多い。この場合、FoCUSでは、“収縮能が保たれている”という情報を取得しておき、下大静脈の拡大所見と、高齢者、女性、高血圧、糖尿病、心房細動などのキーワードを病歴や身体所見から読み取ることができれば、HFpEFの診断に

近づくことができる。

POCUSは領域横断的であり、息切れの患者においては、左室が拡大して収縮能が低下している場合は肺エコーを行って肺うっ血の有無を確認することができ、右室が拡大している場合には静脈血栓症による右心不全を疑って下肢静脈エコーを行い、深部静脈血栓症の有無を確認することも可能である。症状とこれら全身のエコー所見を組み合わせて総合的に考慮して病態を把握し、診断に近づくことができるところにPOCUSの有用性がある。ただし、FoCUSを含めPOCUSは、必ずしも最終診断を行うことを目的としていない。生命の危機にある状況を除けば、異常所見を見つけた場合それぞれの領域の専門家にコンサルトすることが大切で、そのような橋渡しが迅速にできるようになることがPOCUSの最大のメリットである。

おわりに

心エコー・ドプラ法を用いた心不全の診断に関して、心エコー図の専門家が行う拡張機能評価、拡張期負荷心エコー図法を含めた検査室での診断法と、非専門家が患者診察の一環で行うPOCUSを用いた診断法について概説した。今後も罹患患者数の増加が続く心不全に対応するためには、病態を正しく診断して各患者に適した治療法を選択することと、リスクが大きい患者を拾い上げて早期に治療介入を開始して心不全の発症を未然に防ぐことが不可欠である。われわれは、これら心不全の病態把握およびリスクの判定のいずれにおいても有用な心エコー・ドプラ法を広く普及させ、さらに多くの患者が恩

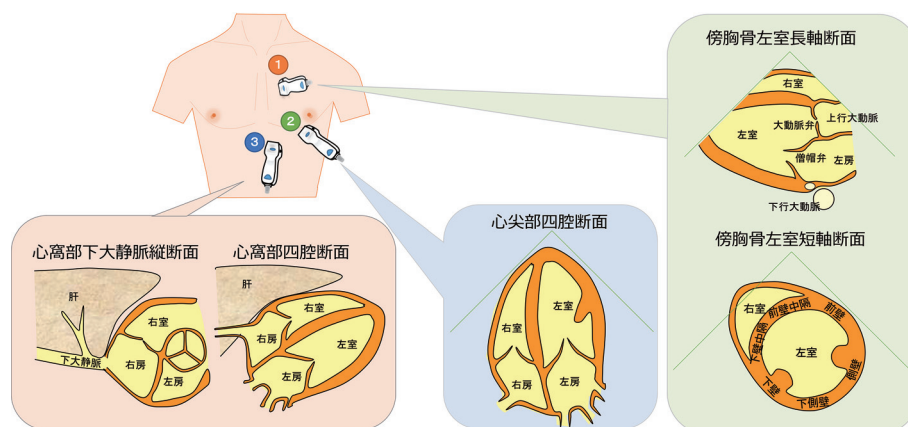


図8

恵を被ることができるよう努力したい。

文 献

- 1) Shimokawa, H., Miura, M., Nochioka, K., Sakata, Y.: Heart failure as a general pandemic in Asia. *Euro J Heart Fail.*, **17** : 884-892, 2015
- 2) Oki, T., Miyoshi, H., Oishi, Y., Mizuguchi, Y., *et al.*: Challenges for 'diastology': contributions from Japanese researchers. *J Echocardiogr.*, **14** : 93-103, 2016
- 3) Moore, C. L., Copel, J. A.: Point-of-Care Ultrasonography. *New Eng J Med.*, **364** : 749-757, 2011
- 4) Lang, R. M., Badano, L. P., Mor-Avi, V., Afilalo, J., *et al.*: Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.*, **28** : 1-39 e14, 2015
- 5) Lee, S. L., Daimon, M., Kawata, T., Kohro, T., *et al.*: Estimation of Right Atrial Pressure on Inferior Vena Cava Ultrasound in Asian Patients. *Circ J. advpub* : 2014
- 6) Taniguchi, T., Ohtani, T., Nakatani, S., Hayashi, K., *et al.*: Impact of Body Size on Inferior Vena Cava Parameters for Estimating Right Atrial Pressure: A Need for Standardization? *J Am Soc Echocardiogr.*, **28** : 1420-1427, 2015
- 7) Seo, Y., Iida, N., Yamamoto, M., Machino-Ohtsuka, T., *et al.*: Estimation of Central Venous Pressure Using the Ratio of Short to Long Diameter from Cross-Sectional Images of the Inferior Vena Cava. *J Am Soc Echocardiogr.*, **30** : 461-467, 2017
- 8) Kitabatake, A., Inoue, M., Asao, M., Tanouchi, J., *et al.*: Transmitral blood flow reflecting diastolic behavior of the left ventricle in health and disease-a study by pulsed Doppler technique. *Jpn Circ J.*, **46** : 92-102, 1982
- 9) 浅井幹夫, 大木崇, 竹村晴光, 富永俊彦 他: 超音波パルス・ドプラー法による左室流入路血流パターンの正常値 ―特に加齢との関係について―. 日本超音波医学会第39回学術集会抄録集. 243, 1981
- 10) Appleton, C. P., Hatle, L. K., Popp, R. L.: Relation of transmitral flow velocity patterns to left ventricular diastolic function: new insights from a combined hemodynamic and Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol.*, **12** : 426-40, 1988
- 11) Oki, T., Tabata, T., Yamada, H., Wakatsuki, T., *et al.*: Clinical Application of Pulsed Doppler Tissue Imaging for Assessing Abnormal Left Ventricular Relaxation. *Am J Cardiol.*, **79** : 921-928, 1997
- 12) Nagueh, S. F., Middleton, K. J., Kopelen, H. A., Zoghbi, W. A., *et al.*: Doppler Tissue Imaging: A Noninvasive Technique for Evaluation of Left Ventricular Relaxation and Estimation of Filling Pressures. *J Am Coll Cardiol.*, **30** : 1527-1533, 1997
- 13) Nagueh, S. F., Smiseth, O. A., Appleton, C. P., Byrd, B. F. 3rd., *et al.*: Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.*, **29** : 277-314, 2016
- 14) Ha, J-W., Oh, J. K., Pellikka, P. A., Ommen, S. R., *et al.*: Diastolic stress echocardiography: A novel noninvasive diagnostic test for diastolic dysfunction using supine bicycle exercise Doppler echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.*, **18** : 63-68, 2005
- 15) Pozzoli, M., Traversi, E., Cioffi, G., Stenner, R., *et al.*: Loading Manipulations Improve the Prognostic Value of Doppler Evaluation of Mitral Flow in Patients With Chronic Heart Failure. *Circulation.*, **95** : 1222-1230, 1997
- 16) Ishizu, T., Seo, Y., Kawano, S., Watanabe, S., *et al.*: Stratification of impaired relaxation filling patterns by passive leg lifting in patients with preserved left ventricular ejection fraction. *Euro J Heart Fail.*, **10** : 1094-1101, 2008
- 17) Yamada, H., Oki, T., Tabata, T., Manabe, K., *et al.*: Differences in transmitral flow velocity pattern during increase in preload in patients with abnormal left ventricular relaxation. *Cardiology.*, **89** : 152-8, 1998
- 18) Yamada, H., Kusunose, K., Nishio, S., Bando, M., *et al.*: Pre-Load Stress Echocardiography for Predicting the Prognosis in Mild Heart Failure. *JACC Cardiovas Imag.*, **7** : 641-649, 2014
- 19) Saijo, Y., Yamada, H., Kusunose, K., Bando, M., *et al.*:

- A clinical application of preload stress echocardiography for predicting future hemodynamic worsening in patients with early-stage heart failure. *Echocardiography*, **35** : 1587-1595, 2018
- 20) Kusunose, K., Yamada, H., Nishio, S., Ishii, A., *et al.* : RV Myocardial Strain During Pre-Load Augmentation Is Associated With Exercise Capacity in Patients With Chronic HF. *JACC Cardiovasc Imag.*, **10** : 1240-1249, 2017
 - 21) Kusunose, K., Seno, H., Yamada, H., Nishio, S., *et al.* : Right Ventricular Function and Beneficial Effects of Cardiac Rehabilitation in Patients With Systolic Chronic Heart Failure. *Can J Cardiol.*, **34** : 1307-1315, 2018
 - 22) Matsumoto, K., Onishi, A., Yamada, H., Kusunose, K., *et al.* : Noninvasive Assessment of Preload Reserve Enhances Risk Stratification of Patients With Heart Failure With Reduced Ejection Fraction. *Circ Cardiovas Imag.*, **11** : e007160, 2018
 - 23) Kusunose, K., Yamada, H., Nishio, S., Torii, Y., *et al.* : Preload Stress Echocardiography Predicts Outcomes in Patients With Preserved Ejection Fraction and Low-Gradient Aortic Stenosis. *Circ Cardiovas Imag.*, **10** : e006690, 2017
 - 24) Matsuzoe, H., Matsumoto, K., Tanaka, H., Hatani, Y., *et al.* : Significant Prognostic Value of Acute Preload Stress Echocardiography Using Leg-Positive Pressure Maneuver for Patients With Symptomatic Severe Aortic Stenosis Awaiting Aortic Valve Intervention. *Circ J.*, **81** : 1927-1935, 2017
 - 25) Sano, H., Tanaka, H., Motoji, Y., Mukai, J., *et al.* : Echocardiography during preload stress for evaluation of right ventricular contractile reserve and exercise capacity in pulmonary hypertension. *Echocardiography*, **35** : 1997-2004, 2018
 - 26) Labovitz, A. J., Noble, V. E., Bierig, M., Goldstein, S. A., *et al.* : Focused Cardiac Ultrasound in the Emergent Setting : A Consensus Statement of the American Society of Echocardiography and American College of Emergency Physicians. *J Am Soc Echocardiogr.*, **23** : 1225-1230, 2010
 - 27) Spencer, K. T., Kimura, B. J., Korcarz, C. E., Pellikka, P. A. : Focused Cardiac Ultrasound : Recommendations from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.*, **26** : 567-581, 2013
 - 28) Neskovic, A.N., Edvardsen, T., Galderisi, M., Garbi, M., *et al.* : Focus cardiac ultrasound : the European Association of Cardiovascular Imaging viewpoint. *Euro Heart J Cardiovas Imag.*, **15** : 956-960, 2014
 - 29) Via, G., Hussain, A., Wells, M., Reardon, R., *et al.* : International Evidence-Based Recommendations for Focused Cardiac Ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr.*, **27** : 683. e1-683. e33, 2014
 - 30) Miller, J. B., Sen, A., Strote, S. R., Hegg, A. J., *et al.* : Inferior vena cava assessment in the bedside diagnosis of acute heart failure. *Am J Emerg Med.*, **30** : 778-83, 2012
 - 31) Blehar, D. J., Dickman, E., Gaspari, R. : Identification of congestive heart failure via respiratory variation of inferior vena cava diameter. *Am J Emerg Med.*, **27** : 71-75, 2009

Echocardiographic diagnosis of heart failure : From evaluation of left ventricular diastolic function to point-of-care ultrasonography

Hirotsugu Yamada

Department of Community Medicine for Cardiology, Tokushima University Graduate School of Biomedical Sciences, Tokushima, Japan

SUMMARY

The number of patients with heart failure is steadily increasing in Japan, and this situation is called the “heart failure pandemic”. Nowadays, echocardiography plays a center role in diagnosis of heart failure. It gives not only a definitive diagnosis of heart failure, but can also be used to determine its pathophysiology and the effect of treatment. Echocardiography can evaluate not only the morphology of the heart but also its function. The hemodynamic diagnosis of heart failure is made by demonstrating 1) increased preload, 2) elevated left atrial pressure, and 3) decreased cardiac output. This article describes how to evaluate each of these including evaluation of left ventricular diastolic dysfunction. We also explain the clinical significance of preload stress echocardiography, which we are developing, in patients with heart failure. Although such echocardiographic diagnostic method is useful for understanding the condition of patients, it has become complicated, and it is difficult to make an accurate diagnosis unless a specialist in echocardiography. Recently, a new way of using ultrasound called “point-of-care ultrasonography (POCUS)” has been developed. This is an ultrasonography in which a physician who is not a specialist in ultrasonography can obtain information to be used as part of a physical examination and make on-site decisions. A diagnostic method for heart failure using POCUS is also described in this paper. In order to properly deal with heart failure, accurate evaluation of the pathology and selection of appropriate treatment, as well as picking up high-risk patients and initiating treatment early to prevent heart failure are essential. We would like to make widespread use of these echocardiographic techniques, which are useful for both understanding the pathology and determining the risk of heart failure, so that more patients can benefit.

Key words : Echocardiography, Diastolic function, Heart failure, Point-of-Care ultrasound, Focused cardiac ultrasound